

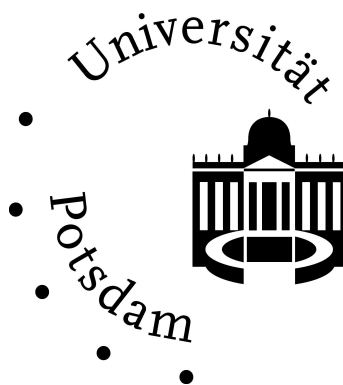
UNIVERSITÄT POTSDAM

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT

VOLKSWIRTSCHAFTLICHE DISKUSSIONSBEITRÄGE

**Wolfgang Wagner**

SIMULATION VON SOZIALER SEGREGATION IM  
MONOZENTRISCHEN STADTSYSTEM



Diskussionsbeitrag Nr. 59

Potsdam 2003

# Simulation von sozialer Segregation im monozentrischen Stadtsystem

Wolfgang Wagner\*

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Allokationsprozess</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Spezifikationen</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Sensitivitätsanalyse</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Schlussbemerkungen</b>	<b>28</b>

---

\*Universität Potsdam, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät, Postfach  
900327, 14439 Potsdam

# 1 Einführung

Soziale Segregation als Phänomen der Stadtstruktur lässt sich vor allem auf zwei verschiedene Ursachen zurückführen: auf Unterschiede der ökonomischen Möglichkeiten verschiedener Bevölkerungsgruppen am Wohnungsmarkt zu partizipieren, und auf soziale Interdependenzen zwischen den verschiedenen Gruppen. Wesentlich ist, dass die jeweiligen Ursachen eine räumliche Selektion der Gruppen mittels des Wohnungsmarktes begründen. Soziale Interdependenzen werden am Wohnungsmarkt als so genannte externe Effekte wirksam, deren Untersuchung Harris (1985) als eines der Hauptproblemfelder der Simulationsforschung im städtischen Kontext betrachtet.

In diesem Beitrag wird ein Simulationsmodell vorgestellt, das die Untersuchung der Wirkungsweise externer Effekte zwischen Haushalten verschiedener Bevölkerungsgruppen erlaubt. Die Formulierung der externen Effekte entspricht einem *Potenzialansatz*, der zu den *Gravitationsansätzen* und damit nach Anas (1987) zu einer der wesentlichsten Modellarten der Stadtökonomie zählt (zum Potenzialansatz vgl. auch Schöler 1995, S. 926 f.). Im Übrigen werden neben den räumlich wirksamen externen Effekten auch weitere räumlich heterogen verteilte Standortmerkmale wie Stadtzentren berücksichtigt.

Um das Modell zu lösen, wird der Allokationsprozess des räumlichen Wohnungsmarktes simuliert. Dafür wird die betrachtete Fläche, wie in der Stadtsimulation seit dem *Herbert-Stevens-Modell* (Herbert und Stevens 1960) üblich, gitterförmig in Teilgebiete zerlegt. Die Marktpreise für die Teilmärkte ergeben sich aus der mikroökonomisch begründeten Zahlungsbereitschaft der Haushalte. Sie hängen vom Einkommen, von den übrigen Preisen, von der Entfernung zum Stadtzentrum und von den externen Effekten ab, die über den Raum hinweg wirksam sein können. Sowohl die Einkommen als auch die externen Effekte sind wiederum von der Bevölkerungsstruktur abhängig, welche sich ihrerseits als Ergebnis der Allokation ergibt. Aufgrund dieses Rückkopplungseffektes wird ein iterativer Lösungsalgorithmus angewendet.

Diese Form der Modellierung, die z. B. Price (1982) für die Berücksichtigung von Rückkopplungen von Verkehrsstauungen auf die Stadtstruktur verwendet, erlaubt die Erfassung externer Effekte bei der Standortwahl von Haushalten auf die Allokation. Der Allokationsmechanismus lässt sich als dynamischer Prozess interpretieren, da die Iterationen als aufeinander folgende Perioden verstanden werden. Es wird damit dem Ansatz der *Evolution Economic Theory* (Potts 2000 und Batten 2000) insofern entsprochen, als dass ex ante nicht bekannt ist, ob es ein Marktgleichgewicht gibt, ob es multiple Gleichgewichte gibt und inwieweit etwaige Gleichgewichte von einer exogen gegebenen Startsituation abhängen, also pfadabhängig sind. Inwieweit das Modellergebnis von exogenen Parametern und dabei insbesondere von der

Startsituation abhängt, ist daher in Sensitivitätsanalysen zu überprüfen.

## 2 Allokationsprozess

Als Startsituation wird von einer willkürlichen Haushaltsverteilung inmitten der betrachteten gitterförmigen Fläche ausgegangen, in der mindestens ein ökonomisches Zentrum entsteht. Die Teilgebiete innerhalb des betrachteten Gebietes können sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften  $e$  unterscheiden. Außerhalb des betrachteten Gebietes, im weiteren Umland, beträgt die Standortqualität  $\bar{e}$ . Sie wird auf 1 standardisiert.

Aus der Haushaltsverteilung ergeben sich die Einkommen der Haushalte und die Nachbarschaftseffekte, die dann die Zahlungsbereitschaft der Haushalte verschiedener Gruppen für die verschiedenen Standorte in der Stadt bestimmen. Die Zahlungsbereitschaft wird aus dem offenen monozentrischen Stadtmodell (Alonso 1964, Muth 1969, Mills 1972) abgeleitet: Die Haushalte der Gruppe  $i$  in dem Gebiet  $l$  und der Periode  $\varepsilon$  maximieren ihren Nutzen  $u$ , der durch folgende, an die *Cobb-Douglas-Funktion* angelehnte Form repräsentiert wird:

$$u_{i,l,\varepsilon} = (z_{i,l,\varepsilon})^{\alpha_{z,i}} (s_{i,l,\varepsilon})^{\alpha_{s,i}} (x_{i,l,\varepsilon})^{\alpha_{x,i}} \prod_{i'=1}^I (n_{i',j,l,\varepsilon})^{\alpha_{n,i',j}} (e_l)^{\alpha_{e,i}}. \quad (1)$$

Dabei gibt  $z$  den Verbrauch eines zentral verfügbaren öffentlichen Gutes,  $s$  den Konsum städtischer Wohnfläche und  $x$  den Konsum der übrigen Güter an, während die Exponenten  $\alpha_{z,i}$ ,  $\alpha_{s,i}$  und  $\alpha_{x,i}$  die Präferenzen für die Güter gewichten. Mit  $\alpha_{n,i,j}$  werden die Einflüsse der externen Effekte  $n_{i,j,l,\varepsilon}$  gewichtet, die im Gegensatz zum vorangegangenen Kapitel direkt in die Nutzenfunktion eingehen.

Die von einem Haushalt der Gruppe  $i$  an einem Standort  $l$  wahrgenommenen externen Effekte  $n_{i,j,l,\varepsilon}$  werden durch die räumliche Verteilung der Haushalte einer Gruppe  $j$  im Stadtgebiet in der Periode  $\varepsilon$  bestimmt:

$$\begin{aligned} n_{i,j,l,\varepsilon} &= n_{i,j}(H_j, d_{l,l'}) \\ &= 1 + \sum_{l=1}^L \left( \frac{H_{j,l,\varepsilon}}{\mu_i \exp(d_{l,l'})} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Ihr Einfluss auf die Haushalte wird durch die Entfernung  $d_{l,l'}$  abgemildert. Die Entfernungsabhängigkeit der Wahrnehmung der externen Effekte  $\mu_i$  variiert dabei für die Haushalte verschiedener Gruppen. Es wird angenommen, dass außerhalb der Stadt keine externen Effekte bestehen:

$$\bar{n}_i = 1.$$

Bei positiven externen Effekten wird  $\alpha_{n,i,j}$  größer 0, bei negativen externen Effekten wird  $\alpha_{n,i,j}$  kleiner 0, und wenn durch das soziale Umfeld keine externen Effekte bewirkt werden, ist  $\alpha_{n,i,j}$  gleich 0. Durch  $e_l$  werden die Eigenschaften der einzelnen Standorte quantifiziert, die durch  $\alpha_{e,i}$  gewichtet werden.

Da die Stadt als offen angenommen wird, ergibt sich die Zahlungsbereitschaft der Haushalte für Wohnstandorte in der Stadt als

$$\Psi_{i,l,\varepsilon} = p_b \left( \frac{\bar{T}_i}{t_i r_l + \bar{t}_i} \right)^{\frac{\alpha_{z_i}}{\alpha_{s_i}}} \left( \frac{\check{Y}_{i,l,\varepsilon} - \bar{\tau}}{\bar{Y}_i} \right)^{\frac{\alpha_{x_i} + \alpha_{s_i} + \alpha_{z_i}}{\alpha_{s_i}}} \prod_{i'=1}^I (\check{n}_{i',j,l,\varepsilon})^{\frac{\alpha_{n_{i',j}}}{\alpha_{s_{i'}}}} (e_l)^{\frac{\alpha_{e_i}}{\alpha_{s_i}}}, \quad (3)$$

wobei  $\bar{Y}_i$  das Einkommen im Umland der Stadt ist. Die Einkommen in der Stadt  $\check{Y}_{i,l,\varepsilon}$ , von dem noch die Steuern  $\bar{\tau}$  abzuziehen sind, werden durch die städtische Produktion bestimmt. Als Produktionsfunktion wird

$$X = \sum_{i=1}^I \delta_i \sum_{l=1}^L H_{i,l,\varepsilon} + \gamma \sum_{i=1}^I \left( \left( \text{Min} \left( \sum_{l=1}^L H_{i,l,\varepsilon}, k \right) \right)^{\beta_i} \left( - \left( \text{Min} \left( \sum_{l=1}^L H_{i,l,\varepsilon}, k \right) \right)^{\beta_i} + \sum_{i=1}^I \left( \text{Min} \left( \sum_{l=1}^L H_{i,l,\varepsilon}, k \right) \right)^{\beta_i} \right) \right) \quad (4)$$

berücksichtigt. Der erste Term stellt konstante Skalenerträge der durch Haushalte verschiedener Gruppen  $H_i$  unelastisch bereitgestellten Arbeit dar, die auch wirksam werden, wenn nur eine Haushaltsgruppe beispielsweise bei ländlicher Produktion eingesetzt wird (Grundproduktion). Zur Erfassung der Agglomerationseffekte städtischer Produktion wird im zweiten Term der Funktion die bereitgestellte Arbeit der verschiedenen Gruppen mit den jeweiligen Produktionskoeffizienten  $\beta_i$  gewichtet und paarweise multiplikativ

verknüpft. Die Einkommen folgen aus dem Wertgrenzprodukt der Arbeit:

$$\begin{aligned}
Y_{i,\varepsilon} &= p_x \frac{\partial X(\cdot)}{\partial H_{i,\varepsilon}} \\
&= p_x \left( \delta_i + \beta_i \gamma \left( \sum_{l=1}^L H_{i,l,\varepsilon} \right)^{\beta_i - 1} \right. \\
&\quad \left. \left( - (H_{i,l,\varepsilon})^{\beta_i} + \sum_{l=1}^L (H_{i,l,\varepsilon})^{\beta_i} \right) \right). \tag{5}
\end{aligned}$$

Die so ermittelten Einkommen gehen als Erwartungswerte in die Zahlungsbereitschaft der Haushalte für Wohnungen ein, da sich die Anzahl der die Produktion und damit die Einkommen bestimmenden Arbeitskräfte erst aus der auf diesen Geboten basierenden Allokation und Bevölkerungsstruktur ergibt.

Bei  $t_i r + \bar{t}_i$  in der Funktion der Zahlungsbereitschaft (Gleichung 3) handelt es sich um Fahrtkosten, die innerhalb der Stadt zum Bezug des zentral in der Entfernung  $r_l$  vom Standort  $l$  verfügbaren öffentlichen Gutes  $z$  erforderlich sind, während ein Substitut für dieses Gut außerhalb der Stadt für  $\bar{T}$  erhältlich ist.

Die Zahlungsbereitschaft wird demnach durch die Relation der ökonomischen Bedingungen von Wohnorten in der Stadt zu solchen im Umland bestimmt. Dabei werden die einzelnen Relationen mit den Exponenten dieser Güter und externen Effekte in der Nutzenfunktion der Haushalte  $\alpha_x$ ,  $\alpha_z$ ,  $\alpha_n$  und  $\alpha_e$  bezogen auf  $\alpha_s$  gewichtet.

Der Allokationsprozess wird wie in Abbildung 1 dargestellt simuliert: Zunächst werden Startwerte der Haushaltsverteilung generiert. Dafür werden für eine bestimmte Anzahl der Teilgebiete um das entstehende Stadtzentrum die jeweiligen Flächen  $F_l$  mit den zufälligen Anteilen  $\eta_i$  und  $\phi$  auf Wohn- und auf landwirtschaftliche Nutzung aufgeteilt. Die Anzahl der Haushalte der verschiedenen Gruppen ergibt sich dann aus der durch deren ländliches Einkommen  $\delta_i p_x$  und dem außerhalb städtischer Gebiete relevanten Bodenpreis bestimmten Flächennachfrage

$$\bar{s}_i^* = \frac{\alpha_{s_i} (1 - \tau) \delta_i p_x}{(\alpha_s + \alpha_z + \alpha_x) p_b} \tag{6}$$

als

$$\bar{H}_i = \frac{\eta_i F_l}{\frac{\alpha_{s_i} (1 - \tau) \delta_i p_x}{(\alpha_{s_i} + \alpha_{z_i} + \alpha_{x_i}) p_b}}. \tag{7}$$

Das Einkommen ergibt sich dabei ohne die Agglomerationseffekte der Kombination verschiedener Haushaltsgruppen im Produktionsprozess. Ferner wird davon ausgegangen, dass außerhalb dieses begrenzten Gebietes um das entstehende Stadtzentrum Flächen nur landwirtschaftlich genutzt werden. Diese Situation wird als etabliert betrachtet. Sie kann im Grunde als dörfliche Ansiedlung von Haushalten inmitten landwirtschaftlich genutzter Flächen interpretiert werden. Alternativ zu einer solchen Startsituation sind auch andere, beispielsweise empirisch begründete oder aus Simulationen mit anderen Parameterspezifikationen resultierende Haushaltsverteilungen denkbar.

Von dieser Situation ausgehend, wird der dynamische Prozess der Stadtbildung durch die Bereitstellung der städtischen Infrastruktur und die Entstehung eines Zentrums im Dorf exogen initiiert. Die städtische Infrastruktur ermöglicht die Nutzung von Agglomerationseffekten in der Produktion, während das Zentrum den Bezug des städtischen öffentlichen Gutes  $z$  durch Fahrten zum Zentrum mit Fahrtkosten in Höhe von  $t_i r + \bar{t}_i$  erlaubt. Dadurch verändern sich die Einkommen der Haushalte und die relativen Preise der Güter, die nun durch die Entfernung zum Zentrum beeinflusst werden.

Damit es zu einem dynamischen Allokationsprozess kommen kann, ist zusätzlich notwendig, dass es bei einer zwischenzeitlich erreichten Allokation zu Auszügen einzelner Haushalte kommt. Ohne diese wäre jede Allokation, auch wenn sie kein Gleichgewicht darstellte, stabil, da es keine Anpassungsmöglichkeiten gäbe. Folglich ist es nötig, einen Modus für die Dynamik der Freisetzung von belegten Wohnstandorten anzunehmen. Diese frei werdenden Standorte stehen für die erneute Belegung zur Verfügung und gehen auch in die Erwartungsbildung hinsichtlich der Einkommen der Haushalte ein. Die Auszugsrate ist im Rahmen der Simulation die einzige zeitbezogene Größe, während alle anderen Größen, also vor allem die Preise, nur hinsichtlich ihrer relativen Größenverhältnisse aufeinander abgestimmt werden müssen. Es empfiehlt sich daher, insbesondere bei der Auszugsrate ein den empirischen Gegebenheiten entsprechendes, aber ansonsten möglichst einfaches Schema zu verwenden.

Um die vakanten Flächen bieten die verschiedenen Haushaltsgruppen und die landwirtschaftlichen Nutzer. Während der Zahlungsbereitschaft für Boden zur landwirtschaftlichen Nutzung immer  $p_b$  beträgt, ergibt sich die Zahlungsbereitschaft der verschiedenen Haushalte  $i$  an dem Standort  $l$  gemäß Gleichung (3). Die Zahlungsbereitschaft wird in jeder Periode  $\varepsilon$  für jede Haushaltsgruppe  $i$  und für jeden Stadtteil  $l$  ermittelt. Die Allokation ergibt sich nun aus den Zahlungsbereitschaften. Wenn die Anbieter ihren Gewinn maximieren und zudem über vollständige Informationen verfügen, dann werden vakante Flächen den Haushalten überlassen, die die höchsten Preise bieten. Die dafür nötige Annahme der vollständigen Realisierung der Zahlungsbe-

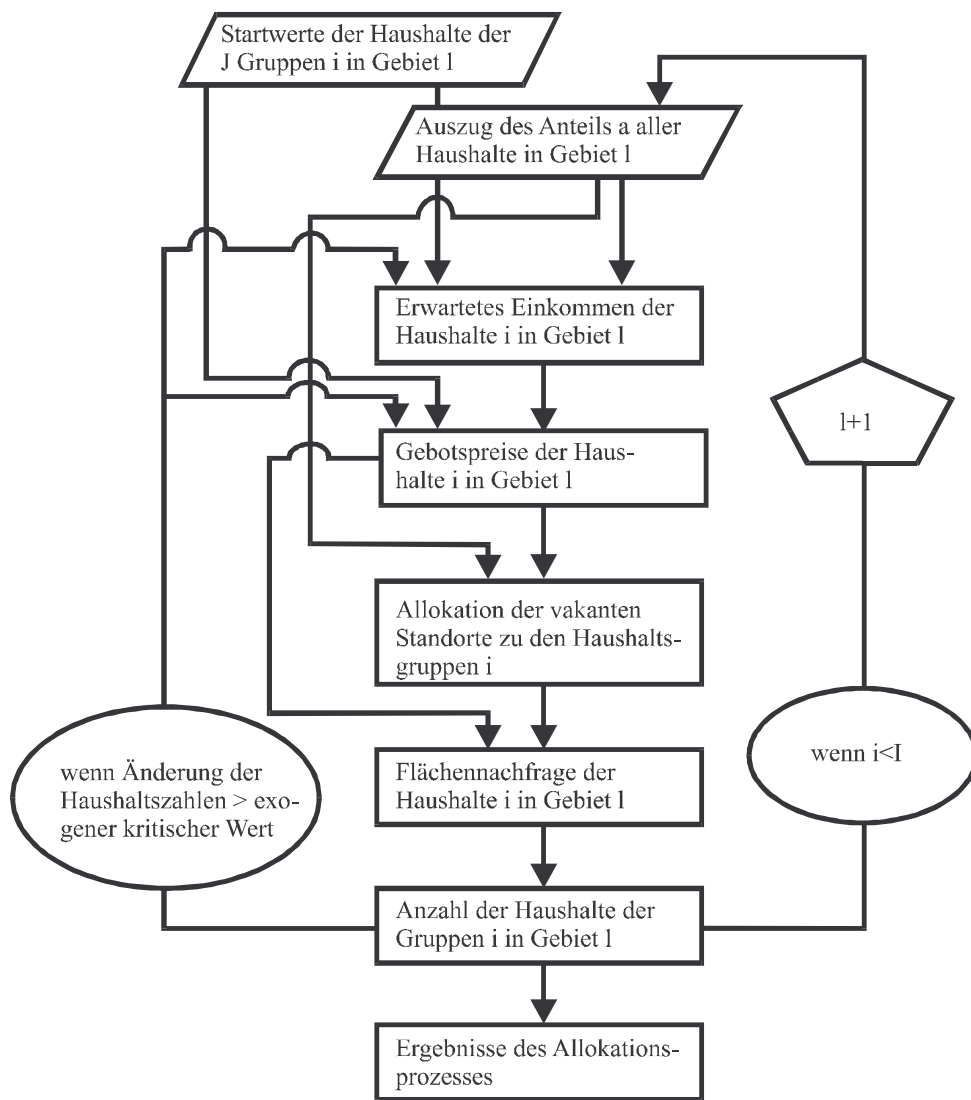


Abbildung 1: Iterationsablauf



reitschaft durch die Bodenanbieter ( $\nu = 1$ ) kann abgemildert werden, indem die Anbieter, beispielsweise aufgrund unvollständiger Markttransparenz, dem erstbesten Nachfrager die vakante Fläche überlassen, dessen Zahlungsbereitschaft innerhalb einer bestimmten, durch  $\nu$  festgelegten Preisspanne um das Höchstgebot des Gebietes liegt. Die Allokation lässt sich durch folgende Funktion darstellen:

$$A_{i,l,\varepsilon} = \begin{cases} 1 & \text{wenn } \psi_{i,l,\varepsilon} \geq \nu \text{ Max}(\psi_{i,l,\varepsilon}) \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (8)$$

(vgl. Koopmans und Beckmann 1957). Sie nimmt den Wert 1 an, wenn Haushalte der Gruppe  $i$  in der Periode  $\varepsilon$  am Standort  $l$  siedeln, und 0, wenn sie im Wettbewerb um den Standort nicht zum Zuge kommen. Die Anzahl der am Standort  $l$  zuziehenden Haushalte der höchstbietenden Gruppe  $i^*$  ergibt sich nun als:

$$\Delta H_{i^*,l,\varepsilon} = \frac{\frac{1}{m} F_l A_{i,l,\varepsilon}}{s_{i,l,\varepsilon}^*(\psi_{i,l,\varepsilon}) \sum_{i=1}^I A_{i,l,\varepsilon}}. \quad (9)$$

Durch den Term  $\sum_{i=1}^I A_{i,l,\varepsilon}$  im Nenner wird festgelegt, dass im Falle von mehreren gleich hohen maximalen oder innerhalb der notwendigen Preisspanne liegenden Geboten für Boden die Anbieter eine Zufallsauswahl zwischen den verschiedenen Nutzungen treffen. Dies folgt implizit aus der Annahme der Gewinnmaximierung als einzigem Ziel der Bodenanbieter, da sie nur durch einen Zufallsentscheid zu einer Kontraktentscheidung kommen können. Es wird somit von persönlichen Präferenzen der Anbieter für eine Nutzungsart abgesehen.

Die resultierenden Allokationen, also die Belegung von Standorten durch ökonomische Nutzungen, werden, wie in der Physik üblich, als Systemzustände modelliert. Wenn ein Standort beispielsweise zum Wohnen genutzt wird, dann kann bestenfalls festgestellt werden, um welche Art des Wohnens es sich handelt, also zu welcher Gruppe der Haushalt zählt. Ökonomische Nutzungen, wie die Wohnnutzung durch Haushalte mit besonderer Gruppenzugehörigkeit, sind als aggregierte Größen zu verstehen. Zwar ist die Wohnungsnachfrage das Ergebnis der Aggregation einzelwirtschaftlicher Nachfragefunktionen, aber welcher Haushalt nun an einem bestimmten Standort siedelt, lässt sich nicht ermitteln.

Die resultierende Haushaltsverteilung stellt die Ausgangssituation für den Allokationsprozess der nächsten Periode dar und schließt somit die Iterationsschleife. Die Simulation wird so lange fortgesetzt, bis sich eine stabile Situation einstellt, sofern dies überhaupt der Fall ist. Die Ergebnisse dieses

Verfahrens sind demzufolge zunächst Informationen über die Existenz eines zumindest lokalen Gleichgewichts sowie die Anzahl der Iterationen, bis dieses erreicht wird. Sofern sich ein Gleichgewicht ergibt, lassen sich alle weiteren Informationen über die Allokation ermitteln, also:

- die Anzahl der Haushalte der verschiedenen Gruppen,
- die Haushaltsverteilung über die verschiedenen Teilgebiete,
- die Einkommen der Haushalte der verschiedenen Gruppen,
- die Gewinne aus der städtischen Güterproduktion,
- die Zahlungsbereitschaft im Gleichgewicht in den verschiedenen Teilgebieten,
- die Bodenrenten der Stadt,
- die Wohlfahrtseffekte der Stadt als Summe aus städtischen Gewinnen und städtischer Bodenrente

und als Informationen über das Siedlungsmuster:

- die Anzahl der segregierten Siedlungsgebiete der einzelnen Haushaltsgruppen und schließlich
- die räumliche Ausprägung der Stadtstruktur.

### 3 Spezifikationen

Zur Bestimmung der Ergebnisse des vorstehend dargestellten Allokationsprozesses ist es nötig, die exogenen Werte des Simulationsmodells zu bestimmen. Diese sind willkürliche Setzungen und müssen daher gut begründet und durch Sensitivitätsanalysen überprüft werden.

Im Rahmen der nachfolgenden Simulation wird ein 20x20-Gitter als gesamte Fläche betrachtet. Die Kantenlänge eines Teilgebietes beträgt 1. Als Entfernungen zwischen den jeweiligen Teilflächen werden die *Euklidischen Distanzen* zwischen den Mittelpunkten der Teilflächen verwendet. Es gilt also

$$d_{l,l'} = \left( (r_{1,l} - r_{1,l'})^2 + (r_{2,l} - r_{2,l'})^2 \right)^{1/2}, \quad (10)$$

wobei  $r_{1,l}$  und  $r_{2,l}$  die Koordinaten der Flächenmittelpunkte der jeweils betrachteten Teilflächen sind. Es wird ein Stadtzentrum in der Mitte der betrachteten Fläche angenommen.

Das Siedlungsgebiet der anfänglichen Haushaltsverteilung erstreckt sich auf ein 6x6-Gitter genau in der Mitte der gesamten Fläche. Das später entstehende Stadtzentrum liegt exakt in der Mitte der betrachteten Fläche, also genau auf der Grenze zwischen dem 10. und 11. Teilgebiet. Auf dieses Zentrum beziehen sich nun alle Entfernungen  $r_l$ , die jeweils von den Mittelpunkten der betrachteten Teilgebiete aus in *Euklidischer Distanz* gemessen werden. Durch die Lage des Zentrums auf der Grenze zwischen den Teilgebieten werden im Übrigen Zentrumsentfernungen von null vermieden, die bei späteren Berechnungen zu Singularitäten<sup>1</sup> von Teilergebnissen führen könnten. Die besonderen Eigenschaften der Standorte  $e$  werden mit 1 spezifiziert. Sie weisen folglich keine geographischen Unterschiede auf, sodass der Raum, abgesehen von der Entfernung zum Zentrum, homogen ist.

Die Haushalte werden in  $I = 6$  Haushaltsgruppen unterteilt. Die Nutzenfunktionskoeffizienten werden wie folgt spezifiziert:

- $\alpha_{x_i} = 0,3$  für alle  $i$
- $\alpha_{s_i} = 0,15$  für alle  $i$
- $\alpha_{z_i} = 0,1$  für alle  $i$
- $\alpha_{e_i} = 0,05$  für alle  $i$

Der Wert für  $\alpha_{e_i}$  ist willkürlich gewählt, jedoch in diesem als Referenzfall fungierenden Szenario ohne Bedeutung, da der Raum homogen ist und auf den Wert 1 normiert wurde.

Der Einfluss der externen Effekte kann durch eine  $I \times I$ -Matrix dargestellt werden, in der die Exponenten der externen Effekte in der Nutzenfunktion  $\alpha_{n_{i,i'}}$  verzeichnet sind. Aus ihr geht hervor, wie die externen Effekte zwischen den Haushalten bewertet werden. Sie kann somit als Sozialstruktur der Stadtbevölkerung verstanden werden. Sie ist ebenso wie die Standorteigenschaften willkürlich gesetzt und muss daher in einer Sensitivitätsanalyse variiert werden. Für die Ausgangssituation wird von einem spürbaren, aber die Nutzenfunktion nicht dominierenden Einfluss ausgegangen, der durch eine Matrix der Exponenten der externen Effekte in der Nutzenfunktion wie folgt dargestellt werden kann:

$$\alpha_n = 0,0175 \cdot E, \tag{11}$$

wobei  $E$  eine  $I \times I$ -Einheitsmatrix ist. Es wird also davon ausgegangen, dass zwischen Haushalten der gleichen Gruppe positive externe Effekte, beispielsweise durch soziale Netzwerke, bestehen. Haushalte unterschiedlicher Gruppenzugehörigkeit üben keinen Einfluss aufeinander aus. Die Faktoren  $\mu_i$ , mit

---

<sup>1</sup>Singularitäten ergeben sich durch Teilen durch null.

denen die Entfernungsabhängigkeit der Wahrnehmung der externen Effekte erfasst wird, werden für das Referenzszenario für alle Haushaltsgruppen gleich 1 gesetzt. Es wird außerdem festgelegt, dass zwischen den landwirtschaftlichen Nutzungen und den Haushalten ebenfalls keine externen Effekte bestehen.

Die für die Einkommen der Haushalte relevanten Produktionskoeffizienten werden zunächst für alle Haushaltsgruppen als gleich angenommen und mit 0,25 spezifiziert. Die Faktoren der Grundproduktion, also die Gewichte des Teils der Produktion mit konstanten Skalenerträgen  $\delta_i$ , werden für alle Haushaltsgruppen gleich 1 gesetzt. Ebenso wird das Verhältnis der arbeitsteiligen Produktion zur gesamten städtischen Produktion  $\gamma$  gleich 2 gesetzt. Das Niveau dieser Werte dient hauptsächlich der Abstimmung zwischen ökonomischen Werten städtischer Standorte und der Ausdehnung der Fläche, die v. a. durch Rechenkapazität beschränkt wird. Wie später ausgeführt wird, wächst die Stadt mit der Produktivität, sodass die Begrenzung des Untersuchungsgebietes auf 20x20 Zellen zu Problemen führen kann. Wesentlich für die Qualität der Ergebnisse ist jedoch vor allem, dass die gewählten Werte eine angemessene Gewichtung zwischen den Termen der Produktionsfunktion darstellen. Solange die Gütermengen hinsichtlich ihrer Dimension nicht spezifiziert werden, sind die Gewichtungsfaktoren  $\delta_i$  und  $\gamma$  nur in ihrer Relation zueinander von Bedeutung. Der kritische Bevölkerungsanteil für die Orientierung an der eigenen Gruppe bei der Einkommenserwartung  $\iota$  beträgt 0,005.

Als Einkommensteuersatz wird  $\tau = 0,45$  angenommen; er orientiert sich bei fast vollständiger Abwesenheit von anderen Steuerarten an der Staatsquote. Zur Einkommensteuer kommt lediglich die Kopfsteuer zur Finanzierung der städtischen Infrastruktur in Höhe von  $\bar{\tau} = 0,025$ , die bei einem Einkommen von etwa 1 bei einer Entlohnung nach dem Wertgrenzprodukt etwa 2,5 % des Einkommens beträgt.

Für die Preise werden die Spezifikation  $p_x = 0,1$  und  $p_b = 10$  vorgegeben. Die Variablen der Bezugskosten des öffentlichen Gutes werden mit  $t_i = 1$ ,  $\bar{t}_i = 0$  und  $\bar{T}_i = 10$  spezifiziert, die es ebenfalls in der Sensitivitätsanalyse zu variieren gilt. Die Genauigkeit des Allokationsprozesses auf dem städtischen Flächenmarkt  $\nu$  wird zunächst auf 1 festgelegt. Folglich wird von vollständigen Informationen der Bodenanbieter ausgegangen.

Die Zeitdauer der Abwanderung der Haushalte  $m$  beträgt 10 Perioden. Als Abruchkriterium für die Iterationen wird ein Unterschreiten der Veränderungsraten der gesuchten Größen unter 0,01 verwendet. Im Übrigen gilt für die Schleifen bei der Bestimmung des erwarteten Einkommens eine maximale Anzahl von 200 Iterationen.

## 4 Ergebnisse

Nachdem nun alle notwendigen Spezifikationen vorgenommen wurden, können Simulationsrechnungen für zufällige, als Startsituation verwendete Haushaltsverteilungen durchgeführt werden. Neben der gleichgewichtigen Allokation von Haushalten verschiedener Gruppen zu den verschiedenen Standorten zeigt sich eine Vielzahl weiterer Ergebnisgrößen, die sich in vier verschiedene Kategorien einteilen lassen:

1. Informationen über den dynamischen Prozess der Allokation,
2. Informationen über die gleichgewichtige Bevölkerungsstruktur,
3. Informationen über die gleichgewichtige räumliche Stadtstruktur und
4. Informationen über die Wohlfahrt der Stadt.

Die erste Kategorie umfasst einerseits die Dauer des Iterationsprozesses und andererseits Informationen über die Abfolge von dynamischen Phänomenen. Hierunter fällt beispielsweise die Reihenfolge von Wachstums- und Segregationsphasen der Stadtstruktur, die nachfolgend anhand eines Beispiels dargestellt werden soll. Die Kategorien zwei bis vier hingegen stellen quasi ein Spannungsdreieck dar, dessen Größen sich gegenseitig beeinflussen.

Als Informationen über die *Bevölkerungsstruktur* lassen sich die Anzahl der Haushalte insgesamt ( $H$ ) sowie unterteilt nach Haushaltsgruppen ( $H_i$ ) erfassen. Die *räumliche Stadtstruktur* kann mit Hilfe von kartographischen Darstellungen verdeutlicht werden, in denen jeweils die am stärksten vertretene Haushaltsgruppe der jeweiligen Standorte aufgezeigt wird. Dies bietet sich vor allem an, wenn die Anzahl von Haushalten anderer Gruppen in solchen Gebieten zu vernachlässigen ist. Aus der räumlichen Verteilung der Haushalte verschiedener Gruppen kann die mittlere Entfernung ( $ME$ ) der Haushalte zum Stadtzentrum ermittelt werden. Darüber hinaus lassen sich Daten über die Anzahl der segregierten Gebiete ( $\Phi$ ) der Stadt und je Haushaltsgruppe erfassen.

Eine *ökonomische Bewertung der Stadt* ergibt sich aus dem Rentenkonzept (Smith 1776, v. Thünen 1826, Murphy, Curry und Schmitz 1971). Die Wohlfahrtswirkung der Stadt wird demnach als Summe der Gewinne  $\Pi$  und der städtischen Bodenrenten  $\Psi$  gemessen. Die Wohlfahrtswirkung der Stadt ergibt sich folglich als:

$$\Omega = \Pi + \Psi. \quad (12)$$

Der Gewinn der Unternehmen lässt sich ermitteln, indem von den Erlösen aus dem Verkauf produzierter Güter die Einkommen der die Arbeit bereitstellenden Haushalte abgezogen werden:

$$\begin{aligned}
\Pi &= p_x X - \sum_{i=1}^I Y_i \sum_{l=1}^L H_{i,l} \\
&= p_x \left( X - \sum_{i=1}^I \left( \delta_i \sum_{l=1}^L H_{i,l} \right) - \gamma \sum_{i=1}^I \beta_i (X - \delta_i) \right). \quad (13)
\end{aligned}$$

Es zeigt sich dabei, dass bei gegebener Größe der Stadtbevölkerung der Gewinn bei gleichen Produktionskoeffizienten mit zunehmend ungleichen Anteilen der Haushaltsgruppen abnimmt.

Die städtischen Bodenrenten sind in diesem Zusammenhang als Überschüsse der realisierten Bodenrenten über diejenigen Bodenrenten zu verstehen, die auch ohne die Stadt erzielbar wären. Bei Letzteren handelt es sich demnach um die alternative Bodenrente  $p_b$ , sodass sich als Differenzialrente

$$\Psi = \sum_{l=1}^L (Max(\Psi_{i,l}, p_b) - p_b) \quad (14)$$

ergibt.

Konsumentenrenten entstehen nicht, da die Zahlungsbereitschaft der Haushalte vollständig durch die Anbieter abgeschöpft wird. Der Nutzenwert, der durch die Nutzenfunktion beschrieben wird, stellt keinen zusätzlichen, durch die Stadt begründeten ökonomischen Wert dar, da er aufgrund der Offenheit der Stadt gleichermaßen auch im Umland erzielt werden könnte. Aus dem gleichen Grund spielt die Anzahl der Haushalte der Stadt für den ökonomischen Wert der Stadt keine unmittelbare Rolle.

Da die Haushaltszahlen zwischen verschiedenen Städten variieren, sind die Wohlfahrtseffekte pro Kopf von besonderem Interesse:

$$\frac{\Omega}{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I H_{i,l}} = \frac{\Pi + \Psi}{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I H_{i,l}}. \quad (15)$$

Sie sind der wesentlichste Maßstab für den Vergleich verschiedener Stadtstrukturen.

Nachfolgend wird zunächst ein ausgewähltes Ergebnis des Referenzszenarios vorgestellt. Bei dem Beispiel zeigt sich hinsichtlich des Prozesses der Allokation, dass es  $\varepsilon_{\max} = 45$  Iterationen nach Zentrumsbildung zu einer dem Abbruchkriterium genügenden stabilen Situation kommt. Die räumliche Ausprägung der resultierenden Segregation lässt sich durch eine zweidimensionale Abbildung (vgl. Abbildung 2) zeigen, in der die Zellen in der Farbe

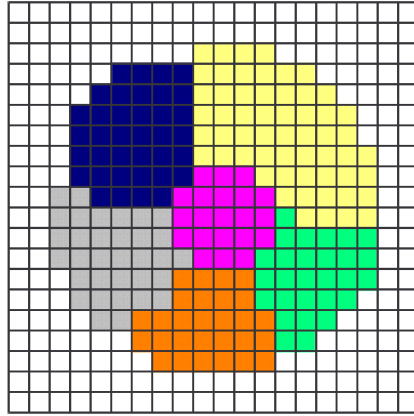


Abbildung 2: Segregationsmuster als Ergebnis der Simulation

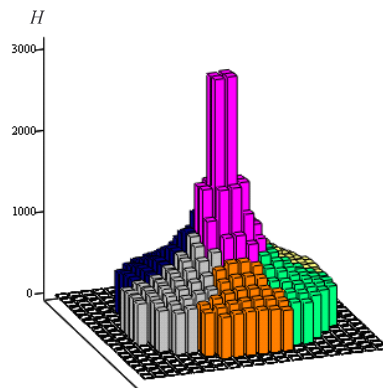


Abbildung 3: Haushaltsverteilung als Ergebnis der Simulation

der am stärksten vertretenen Haushaltsgruppe dargestellt werden. Diese Abbildung entspricht den üblichen kartographischen Darstellungen von räumlichen Siedlungsgebieten verschiedener Haushaltsgruppen. Die Haushaltsgruppen werden in verschiedenen Farben abgebildet (Gruppe 1 = gelb, 2 = blau, 3 = grün, 4 = magenta, 5 = orange und 6 = grau). Mit weißen Flächen werden die Gebiete gekennzeichnet, in denen keine Ansiedlung von Haushalten erfolgt, da hier die Zahlungsbereitschaft für alternative Nutzungen der Flächen höher sind als für Wohnnutzung. Bei späteren Darstellungen werden die Gitterlinien weggelassen, wodurch der Eindruck, dass es sich um die kartographische Darstellung einer Stadtstruktur handelt, noch verstärkt wird. Es lässt sich erkennen, dass alle sechs Haushaltsgruppen in jeweils einem zusammenhängenden, vollständig segregierten Gebiet siedeln. Die Haushaltsverteilung über das Stadtgebiet (Abbildung 3) zeigt eine in Richtung des Zentrums zunehmende Haushaltsdichte.

In Abbildung 4 lässt sich die Entwicklung der Stadt, ausgehend von der ländlichen Startsituation bis zur dem Abbruchkriterium genügenden stabilen Stadtstruktur, erkennen. Dabei wird jeweils angegeben, wieviel des Iterationsprozesses abgelaufen ist. Es zeigt sich, dass schon nach kurzer Zeit, nämlich nach 2,5 % des Iterationsprozesses, aus dem quadratischen Dorf eine runde Stadt mit deutlich gewachsener Ausdehnung entstanden ist. Nach diesem zügigen Wachstum in der Anfangsphase dehnt sich die Stadt im Verlauf des Allokationsprozesses weiter aus, bis nach etwa 20 % des Prozesses die volle räumliche Ausdehnung erreicht ist.

Die am Anfang noch durch mehrere kleine Siedlungsgebiete der verschiedenen Haushaltsgruppen gekennzeichnete Struktur unterliegt im weiteren Verlauf einem Segregationsprozess. Das Wachstum der Stadt bringt ein Wachstum der jeweils größten Siedlungsgebiete der verschiedenen Haushaltsgruppen mit sich. Kleine Siedlungsgebiete verschwinden, sofern sie an größere Siedlungsgebiete anderer Haushaltsgruppen grenzen und weitere größere Siedlungsgebiete der eigenen Haushaltsgruppe existieren. So ergibt sich im Laufe des Allokationsprozesses eine räumliche Stadtstruktur, die von wenigen segregierten Siedlungsgebieten der verschiedenen Haushaltsgruppen geprägt ist. Nach etwa 60 % des Allokationsprozesses hat sich eine räumliche Struktur etabliert, die sich nicht mehr ändert. In der letzten Phase wird die Zusammensetzung der Bevölkerung in den einzelnen Zellen noch so lange zugunsten der jeweils dominierenden Gruppen verändert, bis diese schließlich allein die Gebiete bewohnen und es zum Gleichgewicht kommt.

Die entstandenen Gebiete sind dabei von konzentrierter, räumlich geballter Form, sodass sich für eine gegebene Ausdehnung verhältnismäßig geringe Grenzlängen ergeben. Wong (1993) schlägt die Grenzlänge, gemessen als Anzahl der Kantenlängen von Grenzen für gegebene Zusammensetzungen der



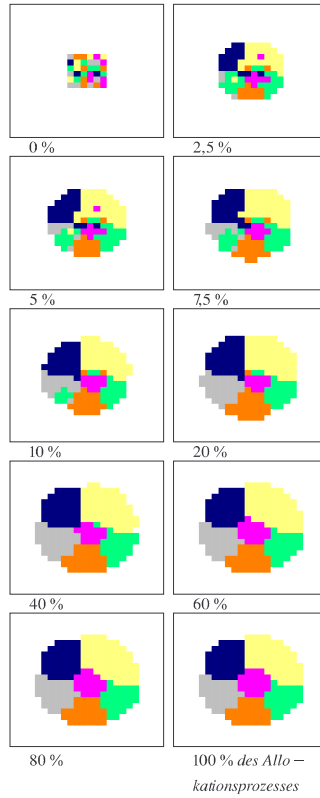


Abbildung 4: Phasen des Allokationsprozesses als Ergebnis der Simulation

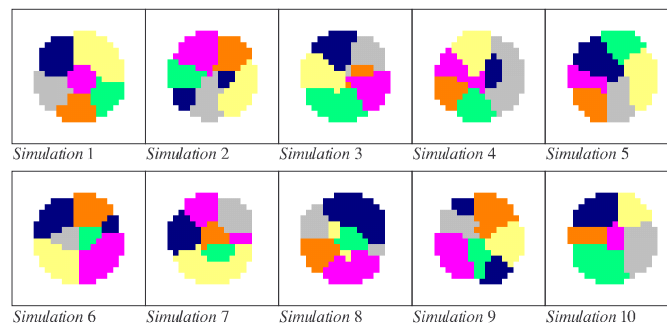


Abbildung 5: Haushaltsverteilungen bei 6 Gruppen als Ergebnis verschiedener Simulationen

Bevölkerung, als Segregationsmaß vor. In der betrachteten Simulation könnte z. B. das Siedlungsgebiet der 4. Haushaltsgruppe (magenta), das sich über 21 Zellen erstreckt, selbst bei vollständiger Segregation Grenzlängen zwischen 20 und 44 Kantenlängen des Gitters einnehmen. Die Grenzlänge beträgt tatsächlich nur 20. Für die Gruppe 5 (orange), die sich über 28 Zellen erstreckt, ergeben sich Grenzlängen zwischen 22 und 58 Kantenlängen. Die Anzahl beträgt 24. Folglich kann auch in Bezug auf die Grenzlänge von einer starken Segregation gesprochen werden.

Das räumliche Muster lässt sich, abgesehen von der erkennbaren Bildung zusammenhängender Gebiete, kaum einer idealtypischen Form zuordnen, wie es bei der Diskussion des statischen Modells (Kapitel 2) möglich war. Ähnlichkeiten zu den von Hoyt (1939, S. 77) empirisch ermittelten Stadtstrukturen liegen hingegen auf der Hand.

Betrachtet man die Ergebnisse der aus diesem Beispiel resultierenden Allokation (vgl. Tabelle 1, erste Spalte), dann zeigt sich, dass insgesamt rd. 164.000 Haushalte  $H$  in der Stadt siedeln. Die Haushaltszahlen der verschiedenen Gruppen variieren dabei erheblich von rd. 18.000 bis 39.000, also zwischen Anteilen  $b_i$  von 0,112 bis 0,241 an der Gesamtbevölkerung.

Die Wohlfahrtseffekte der Stadt  $\Omega$ , also die Summe aus Gewinnen  $\Pi$  und realisierter Zahlungsbereitschaft  $\Psi$ , ergibt sich als 1.492 Geldeinheiten. Davon sind 122 Geldeinheiten Gewinn, während 1.370 als Differenzialrente anfallen. Die Haushalte erzielen eine Entlohnung ihrer Arbeit ( $Y_i$ ) zwischen 0,101 und 0,102. Der Mittelwert  $MW(Y)$  beträgt 0,102. Das Verhältnis des mittleren Einkommens der Stadt zum im Umland erzielbaren Einkommen ( $MW(Y/\bar{Y})$ ) beträgt 1,016. Die Wohlfahrtswirkung der Stadt pro Kopf  $\Omega/H$  beläuft sich auf 0,00913 Geldeinheiten.

Nachdem nun der Allokationsprozess und die daraus resultierende Bevölkerungsstruktur, Raumstruktur und die ökonomischen Werte der Stadt für eine Ausgangssituation detailliert beschrieben wurden (Simulation 1), ist es nötig, weitere Simulationen mit verschiedenen Ausgangssituationen bei sonst gleichen Spezifikationen der Parameter vorzunehmen, um die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Ausgangssituation zu untersuchen (Simulationen 2 bis 10). Die Dynamik des Segregationsprozesses erscheint in allen Simulationen gleichermaßen als *Tipping-Prozess* (Schelling 1971), in dem sich zunächst eine schnelle Phase des Wachstums in segregierten Gebieten, gefolgt von einer späteren Vervollständigung des segregierten Musters, zeigt. Die Dauer des Segregationsprozesses variiert dabei zwischen 35 und 67 Perioden (vgl. Tabelle 1).

Die Raumstruktur lässt sich anhand der Abbildung 5 zeigen: Zwar ergeben sich verschiedene räumliche Anordnungen der Siedlungsgebiete, doch in allen 10 Simulationen lässt sich die starke Segregation bei kompakten Ge-

	Simulationsrechnung										MW
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Iterationen	45	45	67	55	37	46	43	47	41	34	46
$\Phi$	6	7	8	6	6	7	7	8	7	6	6,80
$ME_1$	5,38	5,90	3,68	4,12	5,53	5,64	5,97	2,59	4,81	5,82	4,94
$ME_2$	5,08	4,17	4,94	2,76	3,09	5,81	5,20	5,33	6,34	5,51	4,82
$ME_3$	5,88	4,71	5,46	5,36	5,88	1,77	2,86	1,53	2,56	5,14	4,11
$ME_4$	1,56	4,54	4,63	3,05	4,43	5,49	5,31	5,71	5,52	1,28	4,15
$ME_5$	5,75	4,93	2,74	5,80	6,03	5,22	1,46	5,07	4,30	3,93	4,52
$ME_6$	5,33	3,23	4,80	5,93	4,03	2,00	5,47	5,95	3,80	5,29	4,58
$\sigma_{ME}$	1,629	0,880	0,990	1,398	1,170	1,900	1,792	1,841	1,328	1,704	1,463
HinTsd.	163	159	160	160	162	162	158	159	159	163	160
$b_1$	0,241	0,174	0,229	0,216	0,201	0,182	0,244	0,066	0,177	0,114	0,184
$b_2$	0,165	0,116	0,172	0,107	0,287	0,175	0,150	0,283	0,114	0,168	0,174
$b_3$	0,112	0,127	0,213	0,132	0,121	0,129	0,106	0,201	0,155	0,238	0,153
$b_4$	0,226	0,215	0,177	0,203	0,105	0,215	0,162	0,183	0,184	0,161	0,183
$b_5$	0,114	0,146	0,065	0,108	0,115	0,154	0,198	0,143	0,225	0,115	0,138
$b_6$	0,142	0,223	0,144	0,234	0,172	0,145	0,140	0,124	0,144	0,203	0,167
$\sigma_b$	0,055	0,045	0,059	0,057	0,070	0,030	0,048	0,074	0,038	0,049	0,053
$Y_1$	0,101	0,102	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,103	0,102	0,102	0,102
$Y_2$	0,102	0,102	0,102	0,102	0,101	0,102	0,102	0,101	0,102	0,102	0,102
$Y_3$	0,102	0,102	0,101	0,102	0,102	0,102	0,102	0,101	0,102	0,101	0,102
$Y_4$	0,101	0,101	0,101	0,101	0,102	0,101	0,102	0,102	0,101	0,102	0,101
$Y_5$	0,102	0,102	0,103	0,102	0,102	0,102	0,101	0,102	0,101	0,102	0,102
$Y_6$	0,102	0,101	0,102	0,101	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,101	0,102
$MW(Y)$	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102
$MW(Y/\bar{Y})$	1,016	1,016	1,017	1,016	1,016	1,016	1,016	1,017	1,016	1,016	1,015
$\Pi$	122	121	119	120	120	123	120	118	121	122	120
$\Psi$	1370	1335	1332	1334	1353	1350	1338	1338	1336	1361	1345
$\Omega$	1492	1456	1451	1454	1473	1473	1458	1456	1457	1483	1465
$\Omega/H$	0,00913	0,00914	0,00906	0,00910	0,00908	0,00909	0,00925	0,00915	0,00917	0,00912	0,00913

Tabelle 1: Ergebnisse des Referenzszenarios

bietsformen erkennen. Im Übrigen lässt sich die räumliche Struktur durch die Gesamtzahl der segregierten Gebiete  $\Phi$  und durch die mittlere Entfernung der Haushalte einer Gruppe zum Zentrum  $ME$  sowie der Standardabweichung dieser Größe verdeutlichen. Auch hier zeigt sich, genauso wie bei der graphischen Darstellung, kein einheitliches Muster.

Die Haushaltszahl und die Anteile der Haushaltsgruppen können ebenfalls aus Tabelle 1 abgelesen werden. Die Anteile der einzelnen Haushaltsgruppen streuen zwar deutlich, die Gesamtzahl der Haushalte bleibt aber stabil.

Und schließlich lassen sich aus Tabelle 1 die ökonomischen Werte der Stadt bei verschiedenen Simulationen ablesen.

Um über die Beschreibung der Ergebnisse hinaus eine Auswertung der *Zusammenhänge der Ergebnisgrößen* vorzunehmen, werden diese mit Hilfe von Korrelationsmaßen ermittelt. Auf diese Weise sollen Zusammenhänge zwischen den drei wesentlichen Aspekten der Allokation, nämlich der räumlichen Struktur, der Bevölkerungsstruktur und den ökonomischen Werten der Stadt, aufgedeckt werden. Während einige Zusammenhänge schon durch die Gleichungsstruktur des Modells exogen vorgegeben sind – z. B. sind die Gewinne immer das Resultat aus Bevölkerungszahl und -struktur –, sollen vor allem die Zusammenhänge zwischen der räumlichen Struktur und der Wohlfahrt sowie zwischen der Bevölkerungsstruktur und den Zahlungsbereitschaften betrachtet werden, da diese sich aus dem komplexen Prozess ergeben und nicht das offensichtliche Ergebnis der Modellstruktur sind.

Bei der Verwendung der Korrelationskoeffizienten zur Aufdeckung von Zusammenhängen muss besonders beachtet werden, dass es sich bei den so gefundenen Zusammenhängen lediglich um gleich gerichtete oder entgegengesetzte Varianzen handelt. Aussagen über Kausalzusammenhänge sind damit ausdrücklich nicht verbunden. Dennoch stellen sie eine Hilfe bei der Analyse der Ergebnisstruktur dar. Anhand der gefundenen empirischen Zusammenhänge können die Ergebnisse schließlich unter Berücksichtigung der im Modell wirksamen Abhängigkeiten hinsichtlich kausaler Zusammenhänge interpretiert werden.

Die Zusammenhänge der globalen Ergebnisgrößen der Stadt können durch die in Tabelle 2 dargestellten Korrelationskoeffizienten verdeutlicht werden. Dabei wird die räumliche Struktur der Stadt durch die Anzahl der segregierten Flächen  $\Phi$ , die Entfernung zum Zentrum  $r$  und die Standardabweichung der mittleren Entfernung zum Zentrum der Haushalte der jeweiligen Gruppen  $\sigma_{ME}$  erfasst. Die Bevölkerungsstruktur wird durch die Anzahl der Haushalte  $H$  und die Standardabweichung der Anteile der jeweiligen Haushaltsgruppen  $\sigma(b_i)$  beschrieben. Als ökonomische Werte der Stadt werden die Einkommen  $Y_i$ , die Gewinne  $\Pi$ , die städtischen Bodenrenten  $\Psi$ , die Wohlfahrt  $\Omega$  und die Wohlfahrt pro Kopf  $\Psi/H$  aufgeführt. Aufgrund der Zahl der Simula-

1.Variable	2.Variable	Korrelationskoeffizient
$\Phi$	$H$	-0,563
$\Phi$	$\sigma(b)$	0,071
$\Phi$	$Y$	0,032
$\Phi$	$\sigma(Y)$	0,541
$\Phi$	$\Pi$	-0,549
$\Phi$	$\Psi$	-0,631
$\Phi$	$\Omega$	-0,648
$\Phi$	$\Omega/H$	0,097
$r$	$H$	-0,835
$r$	$Y$	-0,039
$ME$	$b$	0,005
$ME$	$Y$	-0,088
$\sigma(ME)$	$\Phi$	-0,056
$\sigma(ME)$	$H$	0,109
$\sigma(ME)$	$\sigma(b)$	-0,119
$\sigma(ME)$	$Y$	0,036
$\sigma(ME)$	$\sigma(Y)$	-0,179
$\sigma(ME)$	$\Pi$	0,149
$\sigma(ME)$	$\Psi$	0,391
$\sigma(ME)$	$\Omega$	0,383
$\sigma(ME)$	$\Omega/H$	0,391
$H$	$Y$	-0,498
$H$	$\sigma(Y)$	-0,164
$H$	$\Pi$	0,561
$H$	$\Psi$	0,865
$H$	$\Omega$	0,869
$H$	$\Omega/H$	-0,620
$\sigma(b_i)$	$H$	0,022
$\sigma(b_i)$	$Y$	-0,843
$\sigma(b_i)$	$\sigma(Y)$	0,809
$\sigma(b_i)$	$\Pi$	-0,785
$\sigma(b_i)$	$\Psi$	-0,009
$\sigma(b_i)$	$\Omega$	-0,087
$\sigma(b_i)$	$\Omega/H$	-0,181
$Y$	$\sigma(Y)$	-0,721
$Y$	$\Pi$	0,439
$Y$	$\Psi$	-0,340
$Y$	$\Omega$	-0,276
$Y$	$\Omega/H$	0,558
$\sigma(Y)$	$\Pi$	-0,858
$\sigma(Y)$	$\Psi$	-0,312
$\sigma(Y)$	$\Omega$	-0,379
$\sigma(Y)$	$\Omega/H$	-0,272
$\Omega$	$\Pi$	0,635
$\Omega$	$\Psi$	0,997
$\Omega$	$\Omega/H$	-0,151
$\Pi$	$\Psi$	0,569
$\Pi$	$\Omega/H$	-0,113
$\Psi$	$\Omega/H$	-0,148

Tabelle 2: Ergebnisse der Korrelationsanalyse des Referenzszenarios

tionen, die als Stichprobenzahl die Signifikanz der Korrelationskoeffizienten bestimmen, werden nur Werte von über 0,681 als signifikante Zusammenhänge erachtet. Dieser Grenzwert für die Korrelationskoeffizienten ergibt sich bei einer Stichprobenanzahl von 10 mittels der T-Statistik. Die wesentlichen, so erkennbaren Zusammenhänge ergeben sich wie folgt:

Aus der signifikant negativen Korrelation zwischen der Entfernung und der Haushaltsanzahl geht der für alle monozentrischen Stadtmodelle bekannte negative Verlauf der Dichtefunktion von Zentrum zum Stadtrand hervor. Zwischen der Entfernung und dem Einkommen besteht hingegen keine erkennbare Korrelation. Dies ist insofern bemerkenswert, als dass gerade der Zusammenhang zwischen Einkommen und Entfernung zum Zentrum in der *New Urban Economics* Gegenstand ausführlicher Diskussionen ist. Das Ergebnis der Simulation bestätigt die von Wheaton (1977) geäußerten, empirisch begründeten Zweifel an dem von Alonso (1964) und Muth (1969) dargelegten positiven Zusammenhang zwischen Einkommen und Entfernung zum Zentrum. Nach Wheaton müssen auch im üblichen monozentrischen Modell weitere mit den Einkommen korrelierte Unterschiede zwischen den Einkommensgruppen die häufig zu beobachtende Einkommensegregation begründen. Folglich ist diesem bisher nicht eindeutigen Zusammenhang bei einer anschließenden Sensitivitätsanalyse besonderes Augenmerk zu widmen.

Im Übrigen zeigt sich, dass zwischen der Anzahl der segregierten Gebiete  $\Phi$  und den übrigen Ergebnisgrößen in dem Referenzszenario keine Zusammenhänge mit Korrelationen größer 0,681 bestehen. Dennoch wird die Gültigkeit der nicht signifikanten negativen Zusammenhänge zwischen der Gebietszahl und der Haushaltszahl und den an die Haushaltszahl gebundenen Größen, nämlich Einkommen, Gewinn, städtische Bodenrente und Wohlfahrtswirkung der Stadt, vermutet. Diese potenziellen Zusammenhänge werden daher im Weiteren ebenfalls besonders beachtet.

Die Zusammenhänge zwischen der Bevölkerungsstruktur und den ökonomischen Werten zeigen sich vor allem für die Haushaltszahl, die auf alle Größen des ökonomischen Wertes der Stadt eine positive Wirkung hat. Die Anzahl der Haushalte hat im Zusammenspiel mit der Streuung der Anteile der einzelnen Haushaltsgruppen einen deutlichen Einfluss auf den Gewinn. Es zeigt sich ein positiver Effekt der Haushaltszahl bei einem negativen Effekt der Streuung, dessen Ursache in den Produktionsbedingungen liegt. Die Anbieter entlohnen die Arbeitskräfte mit dem Wertgrenzprodukt. Da dieses bei zunehmendem Arbeitseinsatz abnimmt, nimmt auch die Entlohnung ab. Der gleichgewichtige Arbeitseinsatz ist dann gegeben, wenn die Entlohnung so niedrig wird, dass keine weiteren Arbeitskräfte in die Stadt wandern und damit das Arbeitsangebot verebbt. Dies bedeutet aber, dass der Lohnsatz umso niedriger wird, je mehr Arbeitsangebot bereitgestellt wird. Da außerdem die

Produktion sinkende Skalenerträge hinsichtlich der Variation der verschiedenen Arbeitskräfte aufweist, ist mit dem Arbeitsmarktgleichgewicht bei einer mehr oder weniger gleichmäßigen Zusammensetzung der Arbeitskräfte aus Mitgliedern verschiedener Haushaltsgruppen der Produktionswert größer als die Faktorentlohnung (Nichtgültigkeit des *adding-up-Theorems*). Kann der Faktoreinsatz durch sinkende Faktorentlohnung ausgedehnt werden, dann steigen auch die Gewinne. Dadurch wird der in den Simulationen erkennbare positive Zusammenhang zwischen Haushaltsanzahl und Gewinnen begründet. Analog umgekehrt ist der Zusammenhang zwischen der Streuung der Anteile der Haushaltsgruppen  $\sigma(b_i)$  und den Gewinnen  $\Pi$  negativ, wie auch schon direkt aus der Produktionsfunktion geschlossen wurde.

Des Weiteren wirkt die Haushaltsanzahl über den damit verbundenen Wettbewerb bei der Wohnnachfrage positiv auf die städtische Bodenrente ein. Während die Gewinne sich durch die Haushaltsanzahl und Streuung vollständig beschreiben lassen, sind die Zahlungsbereitschaften im Gleichgewicht jedoch auch von den Aspekten der räumlichen Stadtstruktur abhängig, die vor allem über die externen Effekte auf die Zahlungsbereitschaft einwirken würden, auch wenn die Haushaltsanzahl unverändert bliebe. So lässt sich hinsichtlich der Anzahl der segregierten Gebiete ein nahezu signifikanter negativer Zusammenhang mit der städtischen Bodenrente erkennen. Da jedoch auch die Haushaltsanzahl selbst von der räumlichen Struktur abhängt, lassen sich die Effekte nicht voneinander trennen. Mit zunehmender Gebietszahl geht, wie schon genannt, eine Verminderung der Haushaltsanzahl einher, die ebenfalls mit der städtischen Bodenrente zusammenhängt. Folgender Mechanismus ist in Anbetracht der zugrunde liegenden Funktionen plausibel: Da die positiven externen Effekte umso höher sind, je enger und konzentrierter Haushalte gleicher Gruppenzugehörigkeit siedeln, erhöht sich auch die Zahlungsbereitschaft der Haushalte, die in die städtischen Bodenrenten und schließlich in die Wohlfahrtseffekte eingeht. Aufgrund der höheren Zahlungsbereitschaft wird im Übrigen die gleichgewichtige Flächennachfrage der Haushalte und damit die Dichte geringer, sodass schließlich die Anzahl der Haushalte sinkt. Das lässt sich im negativen, ebenfalls fast signifikanten Korrelationskoeffizienten für die Gebietszahl und die Haushaltszahl erkennen.

Es zeigt sich damit, dass im Fall von positiven sozialen externen Effekten zwischen Haushalten der gleichen Gruppe die Wohlfahrtseffekte umso größer sind, je deutlicher die Segregation ausfällt. Die externen Effekte werden bestmöglich genutzt, wenn die Haushalte gleicher Gruppen in möglichst geschlossenen Nachbarschaften siedeln. Dass sich diese Nachbarschaften dann in einem gemeinsamen Stadtgebiet befinden, wird durch die Vorteile im Produktionssektor und durch die Vorteile der Nähe zum gemeinsam nachgefragten, zentral angebotenen öffentlichen Gut begründet.

## 5 Sensitivitätsanalyse

Der Einfluss der Modellspezifikationen auf die resultierenden Stadtstrukturen lässt sich durch eine umfangreiche Sensitivitätsanalyse untersuchen. Aus der Variation der Anzahl der Haushaltsgruppen lässt sich erkennen, dass mit sinkender Anzahl der Gruppen die Anzahl der Haushalte in der Stadt abnimmt, da die Agglomerationseffekte in der städtischen Produktion geringer werden. Zudem wird ersichtlich, dass im Zuge des Allokationsprozesses die Grenzlängen minimiert werden. Insbesondere die Stadtstrukturen bei zwei Haushaltsgruppen entsprechen überwiegend denen, die Loury (1977) als Stadtstruktur mit minimaler Grenzlänge beschrieben hat.

Den umfangreichsten Anteil an der Sensitivitätsanalyse nimmt die Diskussion verschiedener Ausprägungen der externen Effekte zwischen Haushalten ein. Variiert werden symmetrische und asymmetrische positive und negative externe Effekte zwischen Haushalten der gleichen oder verschiedenen Gruppen. Sofern alle anderen Parameter für verschiedene Haushaltsgruppen gleich ausgeprägt sind, stellen die externen Effekte die einzige Ursache für Segregation dar. Wenn diese wegfallen oder zu schwach ausgeprägt sind, dann wird das System instabil, da sich aufgrund der besonderen Form der Erwartungsbildung hinsichtlich des Einkommens und der externen Effekte ein schwingender Marktprozess gemäß des *cobweb-Theorems* ergibt. In diesem Modellrahmen wirkt Segregation aufgrund externer Effekte also systemstabilisierend.

Ebenso zu instabilen Strukturen führen Konstellationen, in denen negative externe Effekte zwischen Haushalten überwiegen. Von besonderem Interesse ist diesbezüglich die Kombination von positiven externen Effekten innerhalb der Gruppen mit schwächeren externen Effekten zwischen Haushalten verschiedener Gruppen. In diesen Fällen können sich je nach Ausprägung stabile Stadtstrukturen ergeben, in denen es zu Auflösungserscheinungen des Stadtgebildes kommt. Es zeigen sich amorphe Stadtgebilde, die sich asymmetrisch ans Stadtzentrum anlagern, verbunden mit Exklaven einzelner Haushaltsgruppen im Umland. Diese Exklaven stellen im Prinzip von der geschlossenen Stadt räumlich getrennte, aber zum Einzugsbereich der Stadt gehörende Siedlungen dar. Solches lässt sich im Umland von Großstädten beobachten. Es handelt sich um Dörfer oder Kleinstädte, die durch *Greenbelts* von der eigentlichen Stadt getrennt sind und selbst kaum städtische Funktionen aufweisen. Sie erlauben es den Bewohnern, in abgeschlossenen Gebieten mit einem den Haushalten entsprechenden sozialen Umfeld zu wohnen und dabei störende Einflüsse durch Haushalte anderer Gruppen zu meiden, ohne auf die Wirkungen der Stadt als Quelle für städtische Leistungen, also öffentliche Güter, verzichten zu müssen. Solche suburbanen Exklaven können den



Ausgangspunkt zur Gründung von so genannten *Edgecities* darstellen. Es zeigt sich zudem, dass bei dieser Konstellation üblicherweise nicht alle möglichen Haushaltsgruppen in der Stadt vertreten sind und dass die möglichen Gleichgewichte recht unterschiedlich ausfallen.

Werden die externen Effekte asymmetrisch gewichtet, haben sie also aus kulturellen Gründen oder aufgrund der jeweiligen Phase der Haushalte einer Gruppe im Lebenszyklus einen unterschiedlichen Einfluss auf das Haushaltsverhalten, dann wird dadurch die Siedlungsstruktur systematisch und damit recht vorhersehbar beeinflusst. Gruppen mit positiverer Bewertung von externen Effekten erlangen einen Vorteil im Wettbewerb um städtisches Wohnangebot, da sie eine höhere Zahlungsbereitschaft aufweisen. Diese Wettbewerbsvorteile schlagen sich dort in der Allokation nieder, wo der Abstand zu den sonst dominierenden Haushalten am geringsten ist. Dies ist systematisch an den Grenzen der eigenen Siedlungsgebiete der Fall. Folglich können die Haushalte mit höherer Gewichtung der positiven externen Effekte an den Grenzen Haushalte anderer Gruppen verdrängen und ihre Gebiete ausdehnen. Dies ist auch der Fall, wenn diese positiven externen Effekte durch Haushalte anderer Gruppen begründet werden. In diesem Fall wird durch die Nähe zu Haushalten einer anderen Gruppe die Nachbarschaft verbessert und dadurch ein Wettbewerbsvorteil auch gegenüber dieser präferierten Gruppe generiert. In der Konsequenz wird vor allem diese Gruppe aus den Gebieten verdrängt, in die sich die Haushalte mit der hohen Bewertung der Nachbarschaft ausdehnen.

Solche Phänomene werden beispielsweise in der Diskussion der so genannten *Gentrification* (z. B. Dangschat 1991 und Friedrichs 1996) beschrieben: So genannte Pioniere, vor allem Künstler, Studenten, Personen mit alternativen oder innovativen Lebensstilen, wandern aufgrund wirtschaftlicher Gegebenheiten in ein Gebiet mit einer wirtschaftlich benachteiligten Bevölkerung, üblicherweise Arbeiter oder Rentner, ein. Aufgrund der Vorliebe für die Nähe zu den Pionieren folgen diesen die so genannten *Gentrifier*, bei denen es sich um wirtschaftlich leistungsfähige Haushalte handelt. Durch die Bereitschaft, für die Nähe zu den Pionieren eine zusätzliche Rente zu zahlen, werden letztere jedoch verdrängt. Inwieweit sich dann in der dynamischen Entwicklung neue Gebiete finden, in denen die Pioniere sich etablieren können und in die dann wieder die Gentrifier folgen, ist nicht sicher. Es besteht im Rahmen des städtischen Systems durchaus die Möglichkeit, dass die Pioniere durch den Wettbewerb in keinem Gebiet der Stadt mehr ein eigenes soziales Umfeld etablieren können und schließlich vollständig aus der Stadt verdrängt werden.

Wird nicht die Struktur, sondern die Entfernungsabhängigkeit der Wahrnehmung der externen Effekte durch die Haushalte betrachtet, dann zeigt

sich, dass dadurch die externen Effekte gewichtet und somit ähnlich wie die Sozialstruktur selbst die Wettbewerbsvorteile der Gruppen beeinflusst werden. In diesem Fall dehnen sich die Gruppen mit stärkerer Wahrnehmung von positiven externen Effekten weiter aus und verdrängen Gruppen mit schwächerer Wahrnehmung der positiven externen Effekte.

Neben der Sozialstruktur und deren Wahrnehmung sind auch die übrigen Präferenzen der Haushalte in der Lage, die Wettbewerbspositionen der Haushalte verschiedener Gruppen zu beeinflussen. Sie üben dabei drei Effekte auf die Zahlungsbereitschaft, nämlich einen direkten Substitutionseffekt und zwei indirekte Bevölkerungseffekte, aus. Die Bevölkerungseffekte ergeben sich, da durch die veränderten Zahlungsbereitschaften die Größe der Gruppen beeinflusst wird. Dies hat einerseits einen Einfluss auf die Höhe der externen Effekte und andererseits auf das Einkommen der Gruppen. Dabei wirken bei der dargestellten Konstellation mit positiven externen Effekten für Haushalte der gleichen Gruppenzugehörigkeit die Substitutionseffekte in die gleiche Richtung. Der Einkommenseffekt hingegen wirkt üblicherweise entgegengerichtet, da das Einkommen mit steigendem Anteil der eigenen Gruppe bei sonst gleichen Bedingungen sinkt. Dieser Einkommenseffekt kann in besonderen Fällen den Substitutionseffekt und die externen Effekte überkompensieren.

Wird die Stadtstruktur betrachtet, dann zeigt sich die Wirkung der Präferenzen auf die Zahlungsbereitschaft in der Ausdehnung der Siedlungsgebiete. Mit Ausnahme der Variation der Präferenzen für Wohnfläche geht damit auch ein gleichgerichteter Effekt auf die Siedlungsdichte einher. Damit ist der Gesamteffekt auf die Haushaltszahl eindeutig. Bei einer Variation der Präferenzen für Wohnfläche hingegen kann die Wirkung auf die Haushaltszahl von diesem Zusammenhang abweichen, da die Präferenzen neben der Zahlungsbereitschaft auch direkt auf die Flächennachfrage der Haushalte einwirken. Es zeigt sich, dass bei steigenden Präferenzen für Wohnen zwar der Substitutionseffekt eine Erhöhung der Zahlungsbereitschaft begründet, jedoch gleichzeitig die Flächennachfrage soweit zunimmt, dass die direkten Effekte davon abgekoppelt wird. Die Siedlungsdichte sinkt und die externen Effekte werden schwächer, sodass die Zahlungsbereitschaft gesenkt werden. Im Saldo bewirken die Präferenzen in der Nachfragefunktion eine höhere Flächennachfrage bei geringeren Zahlungsbereitschaften und damit schlechteren Wettbewerbspositionen. Dadurch gehen die Ausdehnung und der Bevölkerungsanteil einer Gruppe mit steigenden Präferenzen für Wohnen zurück, obwohl der direkte Effekt auf die Zahlungsbereitschaft entgegengesetzt wirkt.

Die Einflüsse von Veränderungen der Präferenzen für das öffentliche Gut und für übrige Konsumgüter sind hingegen erwartungsgemäß. Mit steigenden Präferenzen für diese Substitute zum Wohnen sinkt die Zahlungsbereitschaft. In der Konsequenz ergibt sich eine sinkende Flächennachfrage und steigen-

de Haushaltsdichte. Die negativen Einkommenseffekte können die positiven Effekte über externe Effekte und den direkten Substitutionseffekt nicht überkompensieren, sodass insgesamt die Zahlungsbereitschaft die Wettbewerbsposition verbessert und sowohl der Bevölkerungsanteil als auch die Ausdehnung der Gebiete an den Grenzen zunimmt.

Die Einkommen der Haushaltsgruppen ergeben sich in diesem Modell endogen aus dem städtischen Arbeitsmarkt. Folglich ergeben sie sich gemäß der Grenzproduktivitätstheorie als Wertgrenzprodukt der Arbeit. Wesentlich für die Höhe der Einkommen der verschiedenen Haushalte ist demnach die Funktion der städtischen Produktion. Für die Simulation wird angenommen, dass es eine gesamtstädtische Produktionsfunktion für die Produktion der übrigen Konsumgüter gibt. In der Produktionsfunktion ist ein Teil enthalten, der die Grundproduktion enthält, und ein Teil, der Agglomerationsvorteile repräsentiert, die sich aus der Kombination von Haushalten verschiedener Gruppen ergeben. Da es sich dabei um eine gesamtstädtische Produktionsfunktion handelt, können solche Agglomerationsvorteile auf verschiedenen technischen Wegen entstehen. Einerseits können sie in der Kombination der verschiedenen gruppenspezifischen Fähigkeiten oder Kenntnisstände der Arbeitskräfte bei der Produktion konkreter Güter liegen, andererseits können sie aber in der aufgrund der Gruppenvielfalt zunehmenden Produktvielfalt begründet sein. Wesentlich ist, dass Agglomerationseffekte zustande kommen, die eine Erhöhung der produzierten Menge oder des Nutzwertes der Güter bei gleichen Stückkosten erlauben. Werden die beiden gruppenspezifischen Parameter der Haushalte in der städtischen Produktion, nämlich das Gewicht der Haushaltsgruppe in den Agglomerationseffekten, das als Produktionskoeffizient erfasst wird, und die Grundproduktion der Haushalte der verschiedenen Gruppen, variiert, dann zeigt sich, dass sich mit einer Zunahme beider Größen die Wettbewerbsposition der entsprechenden Gruppe verbessert. In beiden Fällen steigen damit der Bevölkerungsanteil und die Ausdehnung der entsprechenden Gruppe. Ein Unterschied ergibt sich jedoch hinsichtlich der im Gleichgewicht resultierenden absoluten Haushaltseinkommen. Mit steigenden Produktionskoeffizienten der Haushalte in den Agglomerationseffekten geht ein sinkendes Einkommen einher, da die positiven Einkommenswirkungen durch die steigenden Haushaltszahlen der Gruppe überkompensiert werden. Anders verhält es sich bei einer Variation der Grundproduktion. Wird der Faktor der Grundproduktion einer Gruppe erhöht, dann steigt auch im Gleichgewicht das Haushaltseinkommen dieser Gruppe, da das aus der Grundproduktion resultierende Einkommen nicht durch die Haushaltszahl beeinflusst wird.

Neben den Präferenzen wird die Zahlungsbereitschaft der Haushalte und damit die Stadtstruktur durch Größen beeinflusst, die direkt oder indirekt von der Raumstruktur abhängen. Die Entfernung zum Zentrum beeinflusst

die Zahlungsbereitschaft der Haushalte indirekt über die für die Nutzung von zentralen öffentlichen Gütern anfallenden Fahrtkosten. Unterschiede in den Fahrtkosten führen dabei zu den zu erwartenden Veränderungen der Wettbewerbsposition der jeweiligen Haushaltsgruppen. So nehmen die Bevölkerungsanteile und Gebietsgrößen von Gruppen mit sinkenden Fahrtkosten zu und umgekehrt. Ähnlich verhält es sich, wenn nicht nur Fahrtkostensätze, sondern die Verläufe der Fahrtkostenfunktionen variiert werden. Dabei zeigt sich aber zusätzlich, dass mit den Fahrtkostenfunktionen auch die Stadtstruktur hinsichtlich der Ausdehnung ins Umland asymmetrisch beeinflusst werden kann. Es zeigen sich zwar bei den gewählten Beispielen keine vollkommen ringförmigen Strukturen, jedoch Gebietsformen, bei denen sich Ringe in zwei Gebiete von Haushalten mit ähnlicher Reichweite aufteilen.

Wird die Raumstruktur hinsichtlich der Anzahl der Zentren beeinflusst, dann zeigt sich, dass diese zwar einen deutlichen Einfluss auf die Ausdehnung der Stadt hat, da die Entfernung zu bislang weiter entfernt liegenden Gebieten vermindert wird. Sofern es jedoch zu einer symmetrischen Anordnung der Zentren um das bisherige Zentrum kommt, lassen sich die gleichen Formen der Stadtstruktur wie bisher erkennen. Empfindlicher als auf die Anzahl der Zentren reagiert die Stadtstruktur auf bestimmte Variationen der Standortmerkmale. Die Stadtstruktur wird beeinflusst, wenn gleichzeitig die Standortqualität und die Präferenzen der Haushalte verschiedener Gruppen für diese variieren. Dabei ergibt sich bei der Berücksichtigung von nur einem Standortqualitätsmerkmal aus der Variation der Präferenzen für die Standortqualität als Nebeneffekt, dass sich die Wettbewerbsposition einer Gruppe in der ganzen Stadt durch steigende Bewertung der Standortqualität verbessert, sofern die Standortqualität im Mittel höher ist als im Umland und umgekehrt. Davon abgesehen lässt sich bei kleinräumig zufällig variierenden Standortmerkmalen kein deutlicher Einfluss auf die Raumstruktur erkennen. Bei großräumig variierender Standortqualität hingegen zeigt sich, dass die Haushalte mit stärkeren Präferenzen für das betrachtete Standortqualitätsmerkmal in den Gebieten mit höheren Werten dieses Merkmals dominieren. Dies verändert deutlich die sich ohne Berücksichtigung dieses Merkmals ergebende Stadtstruktur. Es zeigt sich somit, dass die Haushaltsgruppen durch die Standortqualität räumlich gelenkt werden können, sofern die Präferenzen hinsichtlich dieser Standortqualitätsmerkmale bei verschiedenen Gruppen unterschiedlich ausgeprägt sind.

Der Einfluss von Preisen für Boden und für übrigen Konsum auf die Stadtstruktur lässt sich vernachlässigen. Sie gehen in die Zahlungsbereitschaft aller Haushalte symmetrisch ein, sofern die Märkte nicht zwischen den verschiedenen Haushaltsgruppen diskriminieren. Folglich verändert sich zwar das Niveau der Zahlungsbereitschaft, nicht aber die Verhältnisse zwi-

schen den Zahlungsbereitschaften verschiedener Haushalte. Damit werden die Siedlungsdichte und die Ausdehnung der Gebiete an den Stadträndern vermindert, nicht aber die Form der Stadtstrukturen.

Einen deutlichen Einfluss auf die Stadtstruktur hingegen hat die Genauigkeit des Allokationsprozesses auf dem Wohnungsmarkt, die vom Informationsstand der Anbieter abhängt. Wenn die Anbieter genau über die maximal realisierbare Zahlungsbereitschaft informiert sind und das höchste erzielbare Preisgebot realisieren, dann resultiert daraus die beschriebene, üblicherweise perfekt segregierte Stadtstruktur. Wird hingegen angenommen, dass die Anbieter ungenau informiert sind, lässt sich dies durch einen Preisabschlag vom Höchstpreis erfassen. Da es in diesem Fall zufällig ist, zu welcher der Gruppen, die zu diesem verminderten Preis zu zahlen bereit sind, der Haushalt gehört, der den Zuschlag erhält, wird damit auch die Segregation vermindert. Solche Ungenauigkeiten des Allokationsprozesses werden in der Literatur für trotz externer Effekte integrierte Siedlungsgebiete verantwortlich gemacht (Miyao 1978, Frankel 1998).

## 6 Schlussbemerkungen

Die Simulation der Segregation hat weitere Erkenntnisse über die Allokation des Wohnungsmarktes mit externen Effekten zwischen Haushalten erbracht. Es hat sich gezeigt, dass die Stadtstruktur durch Argumente der Zahlungsbereitschaft der Haushalte in Wechselwirkung mit der Heterogenität des Raumes bestimmt wird. Die Zahlungsbereitschaft wird neben den Einkommen vor allem von den Präferenzen für verschiedene Konsumgüter, den Preisen, der Entfernung zum Zentrum sowie den Fahrtkosten, den Präferenzen für Standorteigenschaften und den Präferenzen für soziales Umfeld bestimmt. Die Stadtstruktur wird durch diese Argumente immer dann beeinflusst, wenn sie zwischen den Haushalten verschiedener Gruppen variieren und die entsprechenden Merkmale im Raum unterschiedlich verteilt sind.

Im Rahmen der vorgestellten Simulation wird vor allem der Einfluss der externen Effekte untersucht. In dem nachfolgend variierten Referenzszenario zeigt sich, dass positive externe Effekte zwischen Haushalten gleicher Gruppenzugehörigkeit, wie sie für Mitglieder sozialer Gruppen erwartet werden können, zu Segregation der Gruppen führen. Die Segregation erfolgt dabei in verschiedenen räumlichen Mustern, wobei Strukturen dominieren, die zu in sich geschlossenen, konzentrierten Gebieten führen. Ringförmige Siedlungsstrukturen ergeben sich hingegen nicht, sofern keine weiteren Argumente zusätzlich zur oder anstelle der Sozialstruktur variiert werden. Diese Strukturen entsprechen durchaus den räumlichen Siedlungsmustern, die auch

Hoyt (1939) in seinen empirischen Studien über amerikanische Städte gefunden hat. Der Vergleich von aus verschiedenen Startsituationen resultierenden Stadtstrukturen bei ansonsten gleichen Parametern zeigt, dass es sich um ein System mit multiplen Gleichgewichten handelt.

Eine Betrachtung der gesamtstädtischen Ergebnisse macht deutlich, dass Segregation die Wohlfahrtswirkung der Stadt, also die Summe der Bodenrentenüberschüsse und der Gewinne der städtischen Produktion, verbessert. Wesentliche Ursachen dafür sind die aufgrund verbesserter externer Effekte steigende Zahlungsbereitschaft und die steigende Bevölkerungszahl, die mit zunehmender städtischer Produktion einhergeht. Über die zunehmende Bevölkerung wird insgesamt der Wert der Nachbarschaft kapitalisiert und somit zu ökonomischen Werten der Stadt.

Die Sensitivitätsanalyse bestätigt im Wesentlichen die Zusammenhänge des als Referenzfall verwendeten Ausgangsszenarios. Es zeigt sich jedoch, dass die Haushalte, für die die Standorte in der Stadt größere ökonomische oder soziale Vorteile begründen, dies auch in ihrer Zahlungsbereitschaft äußern und sich im Wettbewerb am Wohnungsmarkt auch besser behaupten können. In der Stadtstruktur schlägt sich dies in Form von größeren Siedlungsgebieten und Haushaltszahlen nieder. Werden Sozialstrukturen mit negativen externen Effekten zwischen verschiedenen Gruppen simuliert, dann zeigt das Stadtsystem Auflösungserscheinungen, die je nach konkreter Ausprägung von einer Struktur mit Exklaven außerhalb des Stadtgebietes bis hin zum völligen Zerfall der Stadt reichen können. Bei allen Sensitivitätsanalysen der Parameter des Haushaltsverhaltens zeigt sich Segregation als Ergebnis der Allokation des Wohnungsmarktes. Werden hingegen die Funktionsweise des Wohnungsmarktes selbst, also die Genauigkeit des Allokationsmechanismus beeinflusst, dann lässt sich Segregation vermindern, und es ergeben sich integrierte Gebiete mit mehreren Haushaltsgruppen. Im übrigen lassen sich die Stadtstruktur und damit die Segregationsmuster steuern, wenn Standortmerkmale, die von verschiedenen Haushalten unterschiedlich bewertet werden, angebotsseitig variiert werden.

In diesem Beitrag wurde gezeigt, dass soziale Segregation im Rahmen eines um externe Effekte erweiterten ökonomischen Stadtmodells simuliert werden kann. Die Ergebnisse zeigen Segregationsstrukturen, die über die ringförmigen Stadtstrukturen üblicher monozentrischer Modelle hinausgehen. Durch die Analyse der Simulationsergebnisse lassen sich Mechanismen von empirisch darstellbaren Segregationsprozessen offenlegen. Damit stellt diese Simulation die Grundlage für weitere Untersuchungen von Segregationsmechanismen, etwaigen politischen Interventionsmöglichkeiten sowie der wohlfahrtsökonomischen Wirkungen dar.



## Literaturverzeichnis

- Alonso, W. (1964): *Location and Land Use*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Anas, A. (1987): *Modelling in Urban and Regional Economics*, Harwood Academy Publishers, Chur, Schweiz.
- Batten, D. (2000): "Complex Landscapes and Spatial Interaction", in: Reggiani, A. (Hrsg.): *Spatial Economic Science – New Frontiers in Theory and Methodology*, Springer, Berlin.
- Curry, J.M., Murphy, J.A. and Schmitz, A. (1971): "The Concept of Economic Surplus and its Use in Economic Analysis", in: *Economic Journal*, Vol. 81, S. 741-799.
- Dangschat, J.S. (1991): "Gentrification – Indikator und Folge globaler ökonomischer Umgestaltung, des sozialen Wandels, politischer Handlungen und Verschiebungen auf dem Wohnungsmarkt in innenstadtnahen Wohngebieten", Arbeit zur Erlangung der Habilitation für Soziologie, Hamburg, unveröff., zitiert aus: Keim, R. (1999): *Wohnungsmarkt und soziale Ungleichheit*, Birkhäuser Verlag, Basel.
- Frankel, D.M. (1998): "A Pecuniary Reason for Income Mixing", in: *Journal of Urban Economics*, 44, S. 158-169.
- Friedrichs, J. (1996): "Gentrification: Forschungsgegenstand und methodologische Probleme", in: Friedrichs, J. und Kecskes, R. (Hrsg.): *Gentrification – Theorie und Forschungsergebnisse*, Leske+Budrich, Opladen.
- Harris, B. (1985): "Urban Simulation Models in Regional Science", in: *Journal of Regional Science*, Vol. 25, No. 4, S. 545-565.
- Herbert, J.D. und Stevens, B.H. (1960): "A Model for the Distribution of Residential Activity in Urban Areas", in: *Journal of Regional Science*, 2, S. 21-36.
- Hoyt, H. (1939): *The Structure and Growth of Residential Neighborhoods in American Cities*, Government Printing Office Washington, Washington D.C.
- Koopmans, T.C., Beckmann, M. (1957): "Assignment Problems and the Location of Economic Activities", *Econometrica*, 25, S. 53-76.
- Loury, G.C. (1978): "The Minimum Border Hypothesis Does not Explain the Shape of Black Ghettos", *Journal of Urban Economics*, 4, S. 147-153.
- Mills, E.S.(1972): *Studies in the Structure of the Urban Economy*, Johns Hopkins, Baltimore, Mass.

- Miyao, T. (1978): "A Probabilistic Model of Location Choice with Neighborhood Effects", in: *Journal of Economic Theory*, 19, S. 347-358.
- Muth, R.F. (1969): *Cities and Housing – The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use*, University of Chicago Press, Chicago, Ill.
- Potts, J. (2000): *The New Evolutionary Microeconomics – Complexity, Competence and Adaptive Behaviour*, Edward Elgar Publishing Inc., Cheltenham.
- Price, C. (1982): "Residential Density and Spatial Externality", in: *Urban Studies*, 19, S. 293-302.
- Schelling, T.C. (1971): "Dynamic Models of Segregation", in: *Journal of Mathematical Sociology*, 1, S. 143-186.
- Schöler, K. (1995): "Standorttheorien und Standortfaktoren", in: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): *Handwörterbuch der Raumordnung*, ARL, Hannover, S. 923-927.
- Smith, A. (1789): "The Wealth of Nations", vollständige Ausgabe nach der 5. Auflage, London, in der Übersetzung von: Recktenwald, H. C. (1996): *Der Wohlstand der Nationen*, 7. Aufl., dtv, München.
- Thünen, J.H. v. (1826): *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationaloekonomie*, Hamburg.
- Wheaton, W.C. (1977): "Monocentric Models of the Land Use: Contributions and Criticism", in: Mieszkowski, P. und Straszheim, M. (Hrsg.): *Current Issues in Urban Economics*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, Mass.
- Wong, D.W.S. (1993): "Spatial Indices of Segregation", in: *Urban Studies*, Vol. 30, No. 3, S. 559-572.



## **Bisher erschienene Diskussionsbeiträge:**

- Nr. 1            **Eickhof, Norbert/Martin Franke:** Die Autobahngebühr für Lastkraftwagen, 1994.
- Nr. 2            **Christoph, Ingo:** Anforderungen an eine standortgerechte Verkehrspolitik in der Bundesrepublik Deutschland, 1995.
- Nr. 3            **Franke, Martin:** Elektronisches Road Pricing auf den Autobahnen, 1995.
- Nr. 4            **Franke, Martin:** Die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Zertifikate?, 1995.
- Nr. 5            **Eickhof, Norbert:** Marktversagen, Wettbewerbsversagen, staatliche Regulierung und wettbewerbspolitische Bereichsausnahmen, 1995.
- Nr. 6            **Eickhof, Norbert:** Die Industriepolitik der Europäischen Union, 1996.
- Nr. 7            **Schöler, Klaus:** Stadtentwicklung im Transformationsprozeß - Erkenntnisse aus der deutschen Entwicklung, 1996.
- Nr. 8            **Hass, Dirk/Klaus Schöler:** Exportsubventionen im internationalen räumlichen Oligopol, 1996.
- Nr. 9            **Schöler, Klaus:** Tariffs and Welfare in a Spatial Oligopoly, 1996.
- Nr. 10           **Kreikenbaum, Dieter:** Kommunalisierung und Dezentralisierung der leitungsgebundenen Energieversorgung, 1996.
- Nr. 11           **Eickhof, Norbert:** Ordnungspolitische Ausnahmeregelungen - Rechtfertigungen und Erfahrungen -, 1996.
- Nr. 12           **Sanner, Helge/Klaus Schöler:** Competition, Price Discrimination and Two-Dimensional Distribution of Demand, 1997.
- Nr. 13           **Schöler, Klaus:** Über die Notwendigkeit der Regionalökonomik, 1997.
- Nr. 14           **Eickhof, Norbert / Dieter Kreikenbaum:** Reform des Energiewirtschaftsrechts und kommunale Bedenken, 1997.
- Nr. 15           **Eickhof, Norbert:** Konsequenzen einer EU-Osterweiterung für den Gemeinsamen Markt und Anpassungserfordernisse der Gemeinschaft, 1997.
- Nr. 16           **Eickhof, Norbert:** Die Forschungs- und Technologiepolitik der Bundesrepublik und der Europäischen Union - Herausforderungen, Maßnahmen und Beurteilung -, 1997.
- Nr. 17           **Sanner, Helge:** Arbeitslosenversicherung, Lohnniveau und Arbeitslosigkeit, 1997.
- Nr. 18           **Schöler, Klaus:** Die räumliche Trennung von Arbeit und Wohnen - Kritik einer populären Kritik -, 1997.
- Nr. 19           **Strecker, Daniel:** Innovationstheorie und Forschungs- und Technologiepolitik, 1997.
- Nr. 20           **Eickhof, Norbert:** Die Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts, 1998.

- Nr. 21 **Strecker, Daniel:** Neue Wachstumstheorie und Theorie der strategischen Industrie- und Handelspolitik -Fundierte Argumente für forschungs- und technologiepolitische Maßnahmen?-, 1998.
- Nr. 22 **Schirmag, Toralf/Klaus Schöler:** Ökonomische Wirkungen der Universitätsbeschäftigten auf die Stadt Potsdam und das Umland, 1998.
- Nr. 23 **Ksoll, Markus:** Ansätze zur Beurteilung unterschiedlicher Netzzugangs- und Durchleitungsregeln in der Elektrizitätswirtschaft, 1998.
- Nr. 24 **Eickhof, Norbert/Dieter Kreikenbaum:** Die Liberalisierung der Märkte für leitungsgebundene Energien, 1998.
- Nr. 25 **Eickhof, Norbert:** Die deutsche und europäische Forschungs- und Technologiepolitik aus volkswirtschaftlicher Sicht, 1998.
- Nr. 26 **Sanner, Helge:** Unemployment Insurance in a General Equilibrium Framework with Firms Setting Wages, 1998.
- Nr. 27 **Never, Henning:** Vielfalt, Marktversagen und öffentliche Angebote im Rundfunk, 1998.
- Nr. 28 **Schöler, Klaus:** Internationaler Handel und räumliche Märkte - Handelspolitik aus Sicht der räumlichen Preistheorie -, 1999.
- Nr. 29 **Strecker, Daniel:** Forschungs- und Technologiepolitik im Standortwettbewerb, 1999.
- Nr. 30 **Schöler, Klaus:** Öffentliche Unternehmen aus raumwirtschaftlicher Sicht, 1999.
- Nr. 31 **Schöler, Klaus:** Wohlfahrt und internationaler Handel in einem Modell der räumlichen Preistheorie, 1999.
- Nr. 32 **Wagner, Wolfgang:** Vergleich von ringförmiger und sektoraler Stadtstruktur bei Nachbarschaftsexternalitäten im monozentrischen System, 1999.
- Nr. 33 **Schulze, Andreas:** Die ordnungspolitische Problematik von Netzinfrastrukturen – Eine institutionenökonomische Analyse -, 1999.
- Nr. 34 **Schöler, Klaus:** Regional Market Areas at the EU Border, 2000.
- Nr. 35 **Eickhof, Norbert/Henning Never:** Öffentlich-rechtlicher-Rundfunk zwischen Anstaltsschutz und Wettbewerb, 2000.
- Nr. 36 **Eickhof, Norbert:** Öffentliche Unternehmen und das Effizienzproblem – Positive und normative Anmerkungen aus volkswirtschaftlicher Perspektive -, 2000.
- Nr. 37 **Sobania, Katrin:** Von Regulierungen zu Deregulierungen – Eine Analyse aus institutionenökonomischer Sicht -, 2000.
- Nr. 38 **Wagner, Wolfgang:** Migration in Großstädten - Folgen der europäischen Osterweiterung für mitteleuropäische Stadtstrukturen, 2000.
- Nr. 39 **Schöler, Klaus:** Vertikal verbundene Märkte im Raum, 2000.

- Nr. 40 **Ksoll, Markus:** Einheitliche Ortspreise im Stromnetz und Wettbewerb in der Elektrizitätswirtschaft, 2000.
- Nr. 41 **Sanner, Helge:** Regional Unemployment Insurance, 2001.
- Nr. 42 **Schöler, Klaus:** Zweistufige Märkte bei zweidimensionaler räumlicher Verteilung der Nachfrage, 2001.
- Nr. 43 **Isele, Kathrin:** Institutioneller Wettbewerb und neoklassische Modelle, 2001.
- Nr. 44 **Sanner, Helge:** Bargaining Structure and Regional Unemployment Insurance, 2001.
- Nr. 45 **Sanner, Helge:** Endogenous Unemployment Insurance and Regionalisation, 2001.
- Nr. 46 **Ksoll, Markus:** Spatial vs. Non-Spatial Network Pricing in Deregulated Electricity Supply, 2001.
- Nr. 47 **Ksoll, Markus/Klaus Schöler:** Alternative Organisation zweistufiger Strommärkte – Ein räumliches Marktmodell bei zweidimensionaler Verteilung der Nachfrage, 2001.
- Nr. 48 **Kneis Gert/Klaus Schöler:** Zur Begründung der linearen Nachfragefunktion in der Haushaltstheorie, 2002.
- Nr. 49 **Westerhoff, Horst-Dieter:** Die Zukunft der Gemeinsamen Agrarpolitik angesichts der EU-Erweiterung, 2002.
- Nr. 50 **Wagner, Wolfgang:** Subventionsabbau um jeden Preis? Wohlfahrtswirkungen von Subventionen im Transportsektor, 2002.
- Nr. 51 **Isele, Kathrin:** Fusionskontrolle im Standortwettbewerb, 2003.
- Nr. 52 **Eickhof, Norbert:** Globalisierung institutioneller Wettbewerb und nationale Wirtschaftspolitik, 2003.
- Nr. 53 **Schulze, Andreas:** Liberalisierung und Re-Regulierung von Netzindustrien – Ordnungspolitisches Paradoxon oder wettbewerbsökonomische Notwendigkeit? –, 2003.
- Nr. 54 **Schöler, Klaus/Wolfgang Wagner:** Freizeitbewertung und städtische Bevölkerungsverteilung – Theoretische und empirische Ergebnisse –, 2003.
- Nr. 55 **Sanner, Helge:** Imperfect Goods and Labor Markets, and the Union Wage Gap, 2003.
- Nr. 56 **Sanner, Helge:** Imperfect Goods and Labor Markets, Regulation, and Spillover Effects, 2003.
- Nr. 57 **Holzer, Verena L.:** Überblick über die Energiepolitik der Europäischen Union, 2003.
- Nr. 58 **Westerhoff, Horst-Dieter:** Hightech und Infrastruktur – Die Entwicklung der Geoinformationsbranche-, 2003.
- Nr. 59 **Wagner, Wolfgang:** Simulationen von sozialer Segregation im monozentrischen Stadtsystem, 2003.
- Nr. 60 **Wagner, Wolfgang:** Mietpreisbindung für Wohnungen und ihre Wirkung auf die soziale Segregation, 2003.